

基于Landsat长时间序列数据的敦煌绿洲动态变化分析^{*}

许亚平^{1,2}, 王心源^{1,3}, 王长林^{1,3}

(1 中国科学院对地观测与数字地球科学中心数字地球重点实验室, 北京 100094;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094)

摘 要: 绿洲是干旱区独特的自然景观,是干旱区人们赖以生存和发展的物质基础。以敦煌绿洲为研究区域,基于Landsat TM长时间序列遥感图像,采用最佳指数因子研究最佳波段组合并进行图像分类,基于转移矩阵分析了绿洲主要覆被构成要素的转换特征,并基于土地利用类型动态度模型进行了动态变化分析。结果表明:1975–1998年间敦煌绿洲面积呈缓慢扩张趋势(平均0.35 km²/a);1998–2006年间绿洲面积快速增大(平均3.88 km²/a);2006–2011年间绿洲面积基本稳定。1990–2006年间水浇地和林地的面积总体呈增加趋势;2006–2011年,人工干预加速了土地利用方式的转变。

关 键 词: 遥感;敦煌绿洲;长时间序列;动态监测

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1000-6060(2013)05-0938-08(938~945)

绿洲是在荒漠区适宜多种生物共同生息的区域^[1]。由于具有水、土、气等资源良好的组合优势,对生命系统具有较高的承载能力,因而成为干旱区人们赖以生存和发展的物质基础^[2]。绿洲具有不稳定性,它总是在自然和人为因素的作用下处于动态变化之中。

敦煌绿洲是丝绸之路的重要节点,曾是丝绸之路上的文化中心。但是相关资料显示,近年来敦煌绿洲的生态环境有恶化趋势,表现为绿洲天然林、可利用草场面积下降,现存草场不同程度地存在盐碱化和沙化现象^[3],沙漠有向绿洲推进的趋势^[4]。土壤盐碱化、沙漠化的加剧会导致绿洲生态系统的整体退化^[5],因此,对敦煌绿洲的监测研究显得十分重要。遥感技术具有获取信息范围大、速度快适应性强和信息量大等特点^[6],可为敦煌绿洲监测提供丰富的信息。在敦煌绿洲生态系统中,水浇地和林地是绿洲的主体,而盐碱地和沙地的进退则是关系绿洲退化与稳定性的关键^[7]。从土地覆被的观点来看,水浇地、林地、盐碱地、沙地和裸岩石砾地为敦

煌绿洲土地覆被的主要构成要素。

国内外的学者对中国西北部干旱区绿洲的监测研究主要包括:农业耕地监测^[8-9]、资源研究^[10-12]、荒漠化和沙化监测与分析^[13-14]、盐碱地监测与分析^[15-17]等。本研究利用Landsat长时间序列遥感数据对敦煌绿洲的耕地、林地、盐碱地和沙地进行动态变化监测,首先采用了最佳指数因子OIF(Optimum Index Factor)进行波段优化,并进行土地覆被分类,即水浇地和林地,盐碱地,沙地和裸岩石砾地3种土地覆被类型;在此基础上,对1975–2011年间敦煌绿洲面积以及3种土地覆被类型面积进行变化分析;最后基于土地利用类型动态度模型分析了敦煌绿洲的土地利用动态变化。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

本文所选取的敦煌绿洲研究区范围为94°24′~94°57′ E,40°00′~40°27′ N,如图1所示

收稿日期:2012-09-14; 修订日期:2012-11-15

基金项目:国家科技支撑项目(2012BAH27B05);国家自然科学基金(41271427)

作者简介:许亚平(1986-),男,硕士生,研究方向为环境遥感. Email:xuyaping11@163.com

通讯作者:王心源(1964-),男,研究员,博士生导师,研究方向为遥感考古. Email:xywang@ceode.ac.cn

(见 941 页)。敦煌绿洲地处内陆,四周被沙漠、戈壁包围,地势总体上南高北低,平均海拔 1 069 m。气候上属典型暖温带干旱性气候,年均降雨量仅 38 mm,年均蒸发量 2 486 mm,年平均气温 9.6 ℃。主要天然植被有红柳、白刺、骆驼刺、胡杨等,主要人工作物有棉花、葡萄、玉米等。

1.2 数据

本研究获取了敦煌绿洲 1990–2011 年间的 Landsat TM/ETM+遥感图像共 10 景(表 1),其轨道号为 137/32, Landsat TM 数据有 7 个波段,波段 6 分辨率为 120 m,其余波段为 30 m; Landsat ETM+数据有 8 个波段,波段 6 分辨率为 60 m,波段 8 分辨率为 15 m,其余波段为 30 m。为了保证各时相遥感数据植被覆盖状态的可比性,遥感影像的接收时间都选择在植被覆盖最好的夏秋季节,且云量很少。另外,本研究还收集了 1975 年 5 月 3 日 Landsat MSS 数据(4 个波段,分辨率为 80 m),1990 年敦煌市农区土地利用现状图(1:50 000),以及 2011 年 9 月 27 日、29 日和 30 日敦煌绿洲的野外考察资料。

2 研究方法

2.1 数据预处理

将研究所需遥感影像以及土地利用现状图、野外考察资料制图进行几何精校正。本研究区位于干旱区,大气干洁,大气的影响基本可以忽略^[18]。

2.2 分类方法

最大似然方法 (MLC)是遥感影像分类中最常用手段之一^[19],与其他方法(如 K-means、神经网络)相比较,具有参数明确、算法简单而易于实施等优点^[20]。在中低空间分辨率遥感数据的监督分类中最大似然分类方法被认为是最佳方法。因此,本文选择最大似然分类器进行分类。

2.2.1 分类系统 经过对研究区遥感影像分类过

程的多次尝试,发现如果完全采用一级分类系统,不能有效提取研究区内的关键要素,如:沙地和盐碱地;如果完全采用二级分类制,则分类精度较低,如:城乡工矿居民用地与盐碱地、沙地和裸岩石砾地光谱存在较大的光谱相似性,容易产生混淆,影响分类精度。经实地考察,本研究区城乡工矿居民用地分布相对规则与集中,故将城乡工矿居民用地用目视解译的方法人工提取出来并掩膜处理,归为建设用地;本研究区很少有草地覆盖,水域仅分布在城区的党河段,故草地和水域不做分类;同时本研究需要关注未利用地中的盐碱地、沙地、裸岩石砾地的动态变化,因沙地和裸岩石砾地在 Landsat 遥感图像上的光谱特征相似,难以区分,故将此二类合并,将未利用地细分为盐碱地、沙地和裸岩石砾地两类。结合敦煌市土地利用现状图将分类系统调整为水浇地和林地、盐碱地、沙地和裸岩石砾地三类^[21]。分类系统与解译标志如表 2 所示。

2.2.2 波段优化 为了提高分类精度,避免数据冗余,使用最佳指数因子 OIF 研究最佳波段组合。OIF 基于各个波段组合内及组合间的总方差与相关性的数量特征,定量描述波段组合的效果,为衡量

表 1 敦煌绿洲遥感数据

Tab.1 Remote sensing data list of Dunhuang Oasis			
数据源	接收时间	月份	轨道号
Landsat-5	1990/09/04	9	137032
	1998/09/26	9	137032
Landsat-7	1999/08/20	8	137032
	2000/07/21	7	137032
	2001/09/10	9	137032
Landsat-5	2006/06/28	6	137032
	2007/09/19	9	137032
	2008/10/07	6	137032
	2010/09/11	9	137032
	2011/09/30	9	137032

表 2 分类系统与解译标志

Tab.2 Classification system and interpretation keys			
分类类别	空间分布	形状	颜色
水浇地和林地	绿洲范围都有分布,南部较均匀,北部较稀疏。	格状、不规则片状或条带状	亮绿色或深绿色
盐碱地	主要分布于绿洲西北部及东北部	不规则的片状或面状	青色或灰色,严重时泛白
沙地和裸岩石砾地	主要分布于绿洲南部及西北部	大面积片状	土黄色或粉白色
建设用地	集中分布于绿洲南部,其他地区有零星分布	面状或线状	暗灰色、黑色或红色

多波段的遥感影像融合效果提供了一个客观依据。

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 |cc_j|} \quad (1)$$

式中: σ_i 是波段 i 的标准差, $|cc_j|$ 是 3 个波段中任意 2 个波段之间的相关系数的绝对值, i 和 j 表示两个不同的波段。OIF 的值越大, 组合波段所含的信息量也越大, 用于信息提取的效果也越好^[22]。OIF 的计算结果如表 3 所示(取 OIF 最大的 5 种组合)。

表 3 不同波段组合的 OIF 计算结果

Tab.3 OIF results of various band combinations

波段组合	K-T 变换前三分量	TM 7,4,1	TM 5,4,3	TM 1,3,5	TM 3,5,7
OIF	39.26	28.29	22.79	19.34	19.16

根据计算结果, 最佳波段的组合原则上应为 K-T 变换前三分量, 其次为 7, 4, 1; 5, 4, 3; 1, 3, 5; 3, 5, 7。本研究将经过分类精度验证, 最终确定最佳的波段组合。

在 ArcGIS 中对地面验证数据进行分类制作, 筛选为水浇地和林地、盐碱地、沙地和裸岩石砾地三类, 并将分类数据制作为监督分类的感兴趣区域 ROI (Region of Interest) 文件。同时结合解译标志及光谱特征, 选择感兴趣区域的像元作为训练样本, 每种土地覆被类型的样本数在 100 个以上。最后, 利用最佳波段组合进行图像分类(图 2)。

2.3 转移矩阵和土地利用类型动态度的方法

绿洲主要覆被构成要素的转换特征可以基于转移矩阵进行分析。根据分类结果提取 1990–2011 年间绿洲主要土地覆被的面积, 计算 1990–1998 年、1998–2006 年、2006–2011 年 3 个时段的转移矩阵。

区域土地利用/覆盖类型的变化速度可用动态度表示。土地利用/覆盖的动态度包括单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度^[23]。

单一土地利用类型动态度表达的是某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况, 其表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K 为研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a 、 U_b 分别为研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; T 为研究时段长。

某一研究样区的综合土地利用动态度可表示为:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (3)$$

公式(3)中 LU_i 为监测起始时间第 i 类土地利用类型面积; ΔLU_{i-j} 为监测时段内第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值; T 为监测时段长度^[24]。

3 结果分析

在 2011 年 9 月 27 ~ 30 日野外 GPS 采样点(图 1)的基础上, 结合 1990 年敦煌市土地利用现状图, 确定分类精度验证样本点, 在 ArcGIS 中进行整理并导入到 ENVI 软件, 生成随机检验样本文件, 各类样本数量为: 水浇地和林地 161 个, 盐碱地 143 个, 沙地和裸岩石砾地 157 个, 建设用地经过了掩膜处理, 不参与精度验证。

经过精度验证, 对 OIF 计算所得的最佳波段组合进行比较得知, 3, 5, 7 的组合的总体分类精度最高, 1990 年遥感影像的总体精度达到了 90.35%, Kappa 系数达到 0.85; 其次为 5, 4, 3 的波段组合, 1990 年遥感影像的分类精度达到了 89.69%, Kappa 系数达到 0.85。

绿洲变化表现为其空间位置变迁和属性变化两个方面。空间位置变迁包括绿洲几何形状、边界和位置等随时间发生的空间变化; 属性变化包括绿洲组分、结构和功能随时间发生的内部变化^[1]。

3.1 敦煌绿洲边界、位置的变化分析

3.1.1 绿洲的边界变化 基于 Landsat 遥感影像, 结合遥感影像的分类结果, 在计算机上通过人机交互得到敦煌绿洲 1975–2011 年间的边界变化图(图 3)。

表 5 为 1975–2011 年间敦煌绿洲边界面积发生变化的情况: 1975–1998 年间敦煌绿洲面积呈缓慢扩张趋势(平均 0.35 km²/a), 东北部和北部的扩张尤其明显; 1998–2006 年间绿洲面积快速增大(平均

3.88 km²/a); 2006–2011 年间绿洲面积基本稳定。对 36 a 来的边界周长与面积比进行计算发现, 1975–1990 年周长面积比增大, 说明绿洲形状变得复杂; 1998 年之后的周长面积与比趋于稳定, 反映出绿洲形状趋于规则。

3.1.2 绿洲内部主要土地覆被的面积变化 通过对敦煌绿洲进行遥感影像分类, 提取出 1990–2011 年间绿洲三类土地覆被的面积并进行分析。

敦煌绿洲 1990–2011 年主要土地覆被类型面积变化图(图 4)显示, 绿洲水浇地和林地面积总体呈增加趋势。其中 1990–2001 年中呈现出先增加后减少的趋势。在 2001–2008 年之间, 水浇地和林地面积从 251.53 km² 迅速增长至 320.29 km², 其中 2007–2008 年增长尤其明显。2008–2011 年, 水浇地和林地面积有所减少。

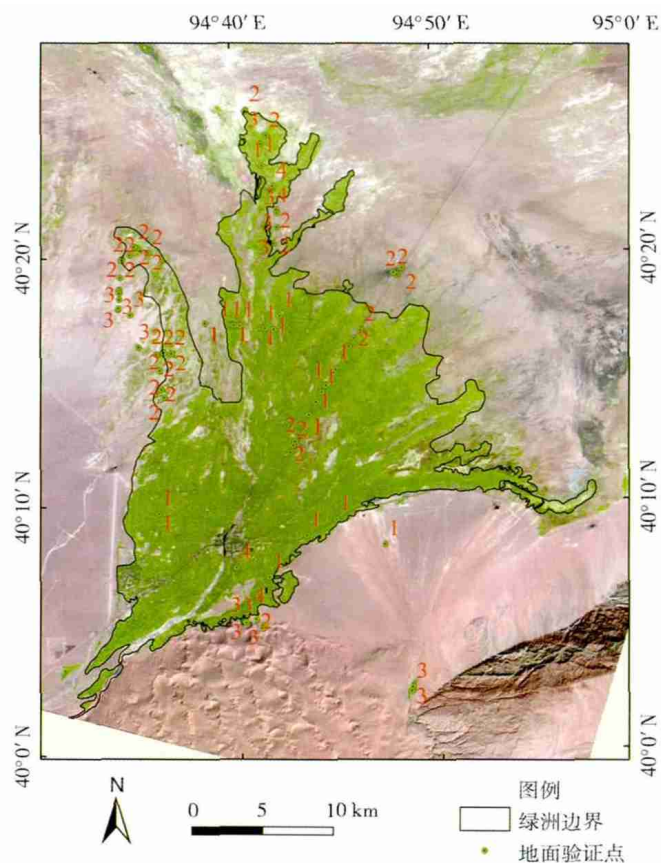


图 1 研究区范围及采样点(Landsat TM5 假彩色合成影像, 波段 5(R), 4(G), 3(B), 2011 年 9 月 30 日)
1-水浇地和林地; 2-盐碱地; 3-沙地和裸岩石砾地;
4-建设用地

Fig.1 Location of research area and the observation point
(Landsat TM5 combination, band 5(R), 4(G),
3(B), Sep.30, 2011)

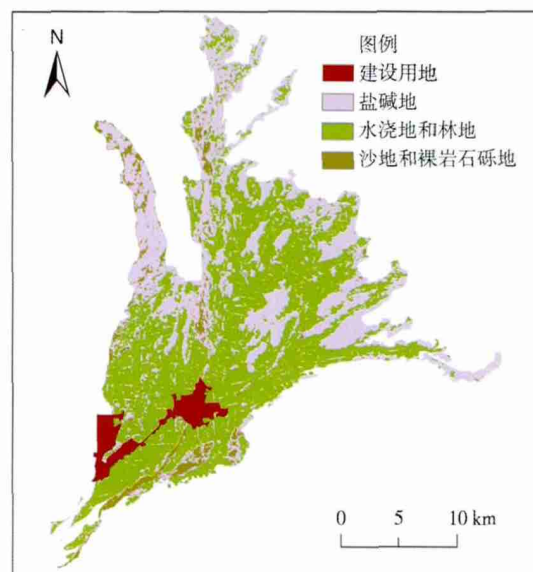


图 2 2011 年 9 月 30 日 Landsat 影像分类结果

Fig.2 Classification image of Landsat data, Sep 30, 2011

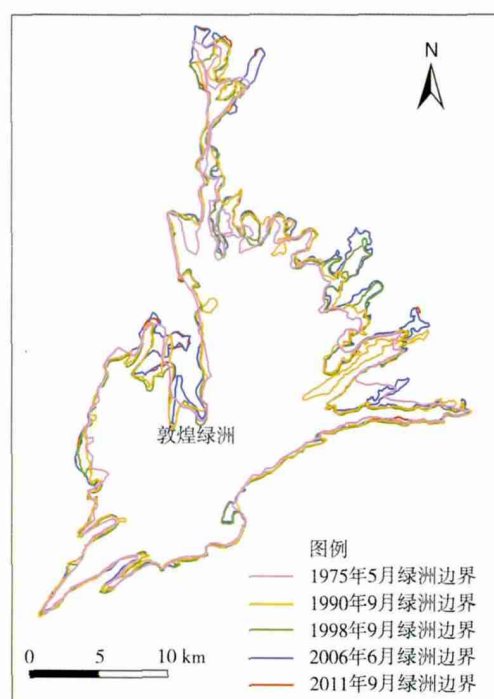


图 3 5 个时期敦煌绿洲边界变化图

Fig.3 Boundary change in 5 terms

盐碱地面积有一定的波动, 总体呈增加-减少-增加趋势。其中 1990–2001 年的面积呈现出增长的趋势, 2001 年比 1990 年增加了 49.67 km²。2001–2008 年, 盐碱地的面积呈波动式下降, 从 211.63 km² 下降至 130.94 km², 2007–2008 年下降尤其明显。2008–2011 年, 盐碱地面积持续增加, 2011 年比 2008 年增加了 64.67 km²。

表4 不同波段组合的分类精度验证结果

Tab.4 Classification accuracy validation of various band combinations

影像日期	波段组合	总体精度/%	Kappa 系数	影像日期	波段组合	总体精度/%	Kappa 系数
1990.9.4	K-T变换前三分量	86.62	0.798 9	2011.9.30	K-T变换前三分量	87.38	0.808 7
	TM 7,4,1	89.44	0.835 0		TM 7,4,1	85.05	0.774 1
	TM 3,4,5	89.69	0.845 0		TM 3,4,5	86.05	0.789 0
	TM 1,3,5	83.55	0.753 1		TM 1,3,5	81.73	0.723 6
	TM 3,5,7	90.35	0.854 8		TM 3,5,7	86.38	0.794 4
	TM 1-5,7	84.21	0.762 6		TM 1-5,7	84.72	0.767 6

表5 敦煌绿洲边界面积与长度

Tab.5 Boundary area and length of Dunhuang Oasis

时间	面积/km ²	周长/km	周长与面积比
1975年5月	317.50	209.21	0.66
1990年9月	323.58	274.38	0.85
1998年9月	325.37	265.91	0.82
2006年6月	356.12	291.18	0.82
2011年9月	356.05	289.04	0.81

沙地和裸岩石砾地面积总体呈减少-增加趋势。2001年比1990年减少了51.37 km²。2001-2008年,沙地和裸岩石砾地面积呈波动式上升。2008-2011年,沙地和裸岩石砾地的面积先增加后减少,

2011年比2008年减少了3.55 km²。

3.2 绿洲组分、结构的动态变化分析

3.2.1 基于转移矩阵的绿洲主要覆被构成要素的转换特征 1990-1998年间,28.28 km²的盐碱地转化为水浇地和林地,6.09 km²的沙地和裸岩石砾地转换为水浇地和林地,水浇地和林地的转入面积为34.37 km²。期间有14.27 km²的水浇地和林地转化为盐碱地,有0.20 km²转化为沙地和裸岩石砾地,水浇地和林地的转出面积为14.47 km²。可见,水浇地和林地的转入面积大于转出面积。

1998-2006年间,38.11 km²的盐碱地转化为水浇地和林地,2.65 km²的沙地和裸岩石砾地转换为水

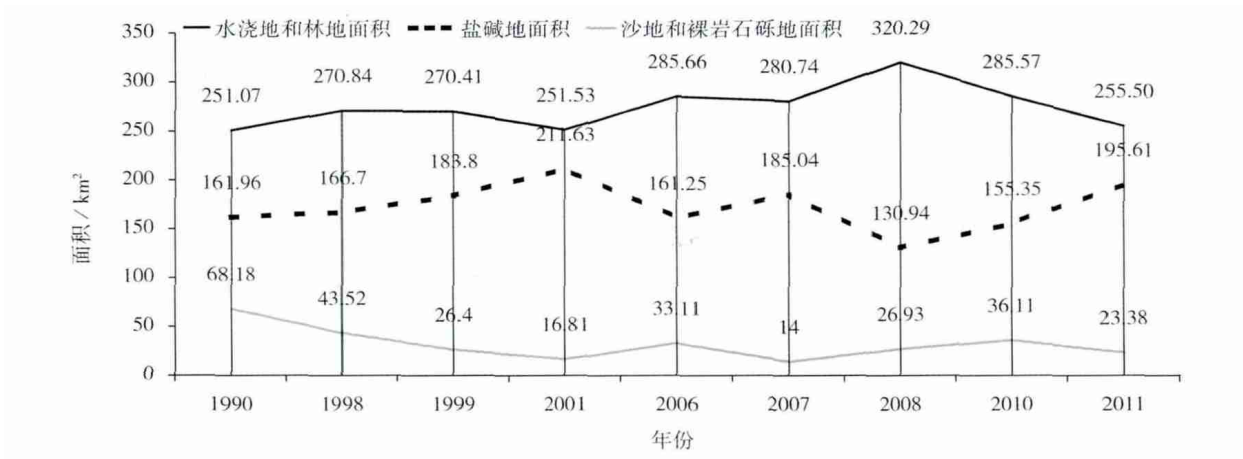


图4 敦煌绿洲1990-2011年主要土地覆被类型面积变化

Fig.4 Land cover change of Dunhuang Oasis from 1990 to 2011

表6 1990-1998敦煌绿洲转移矩阵 / km²

Fig.6 Change detection statistics of Dunhuang Oasis from 1990 to 1998 / km²

	水浇地和林地	盐碱地	沙地和裸岩石砾地
水浇地和林地	236.43	28.28	6.09
盐碱地	14.27	122.02	30.18
沙地和裸岩石砾地	0.20	11.56	31.71

表7 1998-2006敦煌绿洲转移矩阵 / km²

Fig.7 Change detection statistics of Dunhuang Oasis from 1998 to 2006 / km²

	水浇地和林地	盐碱地	沙地和裸岩石砾地
水浇地和林地	244.70	38.11	2.65
盐碱地	23.85	117.96	16.13
沙地和裸岩石砾地	0.34	7.85	23.63

浇地和林地,水浇地和林地的转入面积为40.76 km²。期间有23.85 km²的水浇地和林地转化为盐碱地,有0.34 km²转化为沙地和裸岩石砾地,水浇地和林地的转出面积为24.19 km²。可见,水浇地和林地的转入面积大于转出面积。

表8 2006–2011 敦煌绿洲转移矩阵 / km²
Fig.8 Change detection statistics of Dunhuang
Oasis from 2006 to 2011 / km²

	水浇地和林地	盐碱地	沙地和裸岩石砾地
水浇地和林地	239.42	15.13	0.39
盐碱地	42.42	133.38	16.15
沙地和裸岩石砾地	0.31	7.41	15.20

2006–2011年间,15.13 km²的盐碱地转化为水浇地和林地,0.39 km²的沙地和裸岩石砾地转换为水浇地和林地,水浇地和林地的转入面积为15.52 km²。期间有42.42 km²的水浇地和林地转化为盐碱地,有0.31 km²转化为沙地和裸岩石砾地,水浇地和林地的转出面积为42.73 km²。可见,水浇地和林地的转入面积小于转出面积,表现为2006–2011年,水浇地和林地面积减少,绿洲组分和结构有一定退化。

3.2.2 绿洲的土地利用类型动态度 从表9可见,2006–2011年的综合土地利用动态度为4.48%,显著大于其他时间段,这表明,在同样的时间尺度内,人类对土地的利用方式转变的速率加快,主要体现在水浇地和林地类型与盐碱地、沙地和裸岩石砾地类型的转化加快。总体来看,沙地和裸岩石砾地持续减少,盐碱地有所增加,水浇地和林地面积有所减少。

表9 1990–2011 敦煌绿洲土地利用类型动态度
Tab.9 Land use dynamic degree of Dunhuang
Oasis from 1990 to 2011

	水浇地和 林地 / %	盐碱地 / %	沙地和裸岩石 砾地 / %	综合动 态度 / %
1990–1998	0.98	0.37	–4.52	2.72
1998–2006	0.68	–0.41	–2.99	2.47
2006–2011	–2.11	4.26	–5.88	4.48

4 结论与讨论

绿洲变化是一个变量多、关系复杂,涉及空间

尺度大、时间跨度长的复杂系统。其变化研究涉及不同时间尺度内绿洲的边界、位置以及组成、结构等内容^[2]。

本研究以敦煌绿洲为研究区域,基于 Landsat 遥感影像,采用最佳指数因子进行最佳波段组合,利用最大似然分类器进行了图像分类,总体精度达到90.35%,kappa 系数可达0.85。通过绿洲面积变化分析、绿洲主要覆被构成要素的转换特征分析以及土地利用类型动态度的分析,得出以下结论。

(1) 敦煌绿洲的边界研究表明:1975–1998年间敦煌绿洲面积呈缓慢扩张趋势(平均0.35 km²/a);1998–2006年间绿洲面积快速增大(平均3.88 km²/a);2006–2011年间绿洲面积基本稳定。

(2) 对绿洲内部主要覆被构成要素的研究发现:1975–2011年间敦煌绿洲的水浇地和林地面积有增加的趋势,盐碱地面积呈增加–减少–增加趋势,沙地和裸岩石砾地面积呈减少–增加趋势。

(3) 敦煌绿洲内部地表要素的转移矩阵分析表明:1990–1998年间水浇地和林地的转入大于转出;1998–2006年间水浇地和林地的转入大于转出;2006–2011年间水浇地和林地的转入小于转出。

(4) 研究表明:1998年之后的面积与周长比趋于稳定,反映出绿洲形状趋于规则。1990–1998年及1998–2006年,水浇地和林地的面积有所增加;2006–2011年,水浇地和林地面积减少,绿洲组分和结构有一定的退化。2006–2011年的综合土地利用动态度显著大于其他时间段,表明在同样的时间尺度内,土地利用类型的转变速率加快,主要体现在水浇地和林地类型与盐碱地、沙地和裸岩石砾地类型的转化加快。经实地调查得知,人类通过抽取地下水对盐碱地、沙地和裸岩石砾地进行改良,因此增加了水浇地和林地的面积;改良的水浇地和林地在2006年以后遭到废弃,转而改良新的沙地和裸岩石砾地,因此加重了盐碱化,使水浇地和林地的面积有所减少,加快了土地利用类型的转变速率。

致谢:对敦煌市国土资源局提供的相关数据表示感谢。

参考文献(References)

- [1] 穆桂金,刘嘉麒. 绿洲变化及其调控因素初析[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 539-547. [MU Guijin, LIU Jiaqi. An analysis of the oasis evolution and its control factors [J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(6): 539-547.]
- [2] 崔卫国,穆桂金. 绿洲演变动态监测的遥感分析[J]. 地球信息科学, 2004, 6(3): 105-107. [CUI Weiguo, MU Guijin. Application of RS technology in the research of oasis dynamic change [J]. Geo-information Science, 2004, 6(3): 105-107.]
- [3] 敦煌湿地逐年萎缩绿洲天然林60年减少40%[EB/OL]. <http://news.21cn.com/domestic/difang/2011/05/23/8325057.shtml>. 2011-05-23/2012-05-23. [Dunhuang wetlands shrinking year by year, oasis of natural forests reduced by 40% in 60 years [EB/OL]. <http://news.21cn.com/domestic/difang/2011/05/23/8325057.shtml>. 2011-05-23/2012-05-23.]
- [4] 董开炜. 敦煌绿洲:生态萎缩,沙化加速[J]. 生态经济, 2008, (2): 16-19. [DONG Kaiwei. The Dunhuang Oasis: ecological atrophy, acceleration of desertification [J]. Ecological Economy, 2008, (2): 16-19.]
- [5] 陈亚宁,杨青,罗毅,等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9. [CHEN Yaning, YANG Qing, LUO Yi, et al. Ponder on the issues of water resources in the arid region of northwest China [J]. Arid Land Geography, 2012, 35(1): 1-9.]
- [6] 许亚平. 从汶川地震看遥感技术在突发自然灾害中的应用[J]. 贵州地质, 2008, 25(4): 306-310. [XU Yaping. Application of remote sensing in unpredictable natural disaster from the Wenchuan earthquake [J]. Guizhou Geology, 2008, 25(4): 306-310.]
- [7] 龚新梅. 绿洲盐渍化的遥感监测及其环境因素影响分析—以三工河流域为例[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2004. [GONG Xinmei. The remote sensing monitoring of salinization in oasis and analysis on its environmental factor influence: taking Sangong River Basin as an example [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2004.]
- [8] 刘普幸,程英. 近60年来敦煌绿洲耕地动态变化与预测研究[J]. 土壤, 2008, 40(6): 890-893. [LIU Puxing, CHENG Ying. On dynamic change and forecast of cultivated land in Dunhuang Oasis, Hexi Corridor [J]. Soils, 2008, 40(6): 890-893.]
- [9] 李慧芳. 敦煌绿洲农业发展动态研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(20): 5395-5397. [LI Huifang. Research on Dunhuang Oasis agriculture development [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(20): 5395-5397.]
- [10] 刘普幸,张锐,吴三雄. 敦煌绿洲近54 a气候变化特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 98-102. [LIU Puxing, ZHANG Rui, WU Sanxiong. Climate change in Dunhuang Oasis since recent 54 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(7): 98-102.]
- [11] ZHANG Q, ZHANG J, QIAO J, et al. Relationship of atmospheric boundary layer depth with thermodynamic processes at the land surface in arid regions of China [J]. Science in China Ser D Earth Sciences, 2011, 54(10): 1586-1594.
- [12] MA Y M, MENENTI M, FEDDES R. Parameterization of heat fluxes at heterogeneous surfaces by integrating satellite measurements with surface layer and atmospheric boundary layer observations [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2010, 27(2): 328-336.
- [13] 宁立波,张阳,杨俊仓,等. 敦煌盆地重点区土地荒漠化变化特征及原因分析[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(6): 65-68. [NING Libo, ZHANG Yang, YANG Juncang, et al. Analysis of land desertification variation characteristics and its reasons in the key areas of Dunhuang Basin [J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(6): 65-68.]
- [14] 唐卫东,李得禄,赵明,等. 敦煌市近30年荒漠化影响因素分析[J]. 甘肃林业科技, 2010, 35(3): 21-25. [TANG Weidong, LI Delu, ZHANG Ming, et al. Analysis on influencing factors of desertification in Dunhuang City [J]. Journal of Gansu Forestry Science and Technology, 2010, 35(3): 21-25.]
- [15] 何祺胜,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽. 基于决策树方法的干旱区盐渍地信息提取—以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 134-140. [HE Qisheng, TIYIP Tashpolat, DING Jianli. The extraction of saline soil information in arid area based on decision tree algorithm: a case study in the Delta Oasis of Weigan and Kuqa Rivers [J]. Resources Science, 2006, 28(6): 134-140.]
- [16] 亢庆,张增祥,王长有,等. 艾比湖绿洲农业区土地利用动态与盐碱化影响的遥感应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 73-78. [KANG Qing, ZHANG Zengxiang, WANG Changyou, et al. Application of remote sensing technique for land use changes and soil salinization in agricultural area of oasis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(2): 73-78.]
- [17] SU Y Z, WANG X F, YANG R, et al. Soil fertility, salinity and nematode diversity influenced by *Tamarix ramosissima* in different habitats in an arid desert oasis [J]. Environmental Management, 2012, 50(2): 226-236.
- [18] 张芳,塔西甫拉提·特依拜,熊黑钢,等. 干旱区湿地信息的指数提取方法[J]. 干旱区地理, 2011, 34(6): 983-989. [ZHANG Fang, TIYIP Tashpolat, XIONG Heigang, et al. Extracting wetlands information of arid zone based on index method [J]. Arid Land Geography, 2011, 34(6): 983-989.]
- [19] 骆剑承,王钦敏,马江洪,等. 遥感图像最大似然分类方法的EM改进算法[J]. 测绘学报, 2002, 31(3): 234-239. [LUO Jiancheng, WANG Qinmin, MA Jianghong, et al. The EM-based maximum likelihood classifier for remotely sensed data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002, 31(3): 234-239.]
- [20] RICHARDS J A, JIA X P. Remote sensing digital image analysis: an introduction [M]. Berlin: Springer, 1999.
- [21] 肖鹏峰,刘顺喜,冯学智,等. 基于中分辨率遥感图像的土地利用与覆被分类系统构建[J]. 中国土地科学, 2006, 20(2): 33-38. [XIAO Pengfeng, LIU Shunxi, FENG Xuezhi, et al. Land use/cover classification system based on medium resolution remote sensing data [J]. China Land Science, 2006, 20(2): 33-38.]
- [22] DWIVEDI R S, RAO B R M. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils [J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(11): 2051-2058.

- [23] 刘纪远,布和敖斯尔.中国土地利用变化现代过程时空特征的研究—基于卫星遥感数据[J].第四纪研究,2000,20(3):229–239.[LIU Jiyuan, BUHE Aosi'er. Study on spatial-temporal feature of modern land-use change in China: Using remote sensing techniques[J]. Quaternary Research, 2000, 20 (3): 229–237.]
- [24] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81–87.[WANG Xiulan, BAO Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81–87.]

Dynamic change analysis of Dunhuang Oasis based on long time Landsat image series

XU Ya-ping^{1,2}, WANG Xin-yuan^{1,3}, WANG Chang-lin^{1,3}

(1 Key Laboratory of Digital Earth Science, Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage under the Auspices of UNESCO, Beijing 100094, China)

Abstract: The Dunhuang Oasis is a typical representative of a desert landscape in arid area, as well as the material basis for human beings in arid area to survive and develop. However, the oasis has obvious environment vulnerability. Besides, salinization and desertification can induce the degradation of the oasis ecosystem. Therefore, the dynamic change analysis on the Dunhuang Oasis has considerable significance. This paper takes China's Dunhuang Oasis as research area to study its dynamic change. Multi-source data, including long-time series Landsat MSS and TM data from 1975 to 2011, field investigation material of Sep 27, 29 and 30, 2011, land use map of 1990 are used to determine well-adapted classification method using *OIF* and maximum likelihood algorithm. Information of the land cover and land use is extracted based on the well-adapted classification method. Dynamic change of the Dunhuang Oasis is analyzed based on change detection statistics and land use dynamic degree model. The result reveals that during the 36 years from 1975 to 2011, the boundary area tended to increase from 1975 to 1998 with a speed $0.35 \text{ km}^2/\text{a}$, and increase from 1998 to 2006 with a speed $3.88 \text{ km}^2/\text{a}$. The boundary area became stable from 2006 to 2011. During the period of 1990 to 2011, the irrigable land and forest land area tended to increase; the saline and alkaline land area tended to increase, decrease, and then increase; the sand and bare rock area decrease and then increase. The land cover change detection reveals as follows: from 1990 to 1998, 14.27 km^2 of irrigable land and forest land changed into saline and alkaline land, while 28.28 km^2 of saline and alkaline land changed into irrigable land and forest land, and 0.2 km^2 of irrigable land and forest land changed into sand and bare rock, while 6.09 km^2 of sand and bare rock area changed into irrigable land and forest land. From 1998 to 2006, 23.85 km^2 of irrigable land and forest land changed into saline and alkaline land, while 38.11 km^2 of saline and alkaline land changed into irrigable land and forest land, and 0.34 km^2 of irrigable land and forest land changed into sand and bare rock area, while 2.65 km^2 of sand and bare rock area changed into irrigable land and forest land. From 2006 to 2011, 42.42 km^2 of irrigable land and forest land changed into saline and alkaline land, while 15.13 km^2 of saline and alkaline land changed into irrigable land and forest land, and 0.31 km^2 of irrigable land and forest land changed into sand and bare rock area, while 0.39 km^2 of sand and bare rock area changed into irrigable land and forest land. The conclusion is that the irrigable land and forest land were expanded from 1990 to 1998 and from 1998 to 2006, while the irrigable land and forest land were shrunk from 2006 to 2011. Comprehensively, the constituent and structure of the Dunhuang Oasis evolved from 1998 to 2006 while degenerated from 2006 to 2011. Land use and land cover change rate was accelerated from 2006 to 2011.

Key Words: remote sensing; the Dunhuang Oasis; long time series; dynamic monitoring